УДК 658.13 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-1-58-66

Совершенствование складских транспортных устройств на воздушной подушке с наклонными питающими каналами

В. А. Турушин, А. М. Редько, Н. В. Турушина
Луганский государственный университет имени Владимира Даля (г. Луганск, Луганская Народная Республика)

Введение. Затронут вопрос о направлениях механизации и автоматизации логистики стеллажных складов. Рассмотрены работающие в зоне хранения бесприводные транспортные устройства на воздушной подушке с наклонными питающими каналами. Исследовано смещение центра тяжести груза относительно геометрического центра опорной поверхности. Отмечено, как это влияет на основные характеристики изучаемых устройств.
Постановка задачи. Ранее проведенные исследования доказали достаточную работоспособность бесприводных транспортных устройств на воздушной подушке с наклонными питающими каналами, их безопасность и эффективность при транспортировании штучных грузов, а также потенциал при механизации и автоматизации транспортно-складских работ в стеллажных складах. Задача данной работы — представить схему механизации для зоны хранения стеллажного склада, оборудованного транспортным устройством с наклонными питающими каналами.
Теоретическая часть. В стеллажных складах, предназначенных для хранения штучных грузов, операции приемки, хранения и отправки в большинстве случаев выполняются с помощью подъемно-транспортных машин. Наиболее распространены краны-штабелеры, однако их применение требует создания сложных и дорогостоящих систем, т. е. значительных капитальных и эксплуатационных затрат. В статье рассмотрена система механизации стеллажного склада с использованием транспортных средств на воздушной подушке при нецентральном расположении груза. В этом случае высота воздушной подушки зависит от эксцентриситета расположения груза. Показаны характерные для такой ситуации точки приложения и величины сил сопротивления и тяговой силы, крутящие моменты и силы трения, влияющие на суммарное сопротивление
Выводы. Результаты исследования позволяют утверждать, что в ряде случаев на логистических предприятиях вместо традиционных транспортных устройств эффективно использование техники на воздушной подушке с наклонными питающими каналами.

Ключевые слова: воздушная подушка, стеллажные склады, центр тяжести груза, транспортный конвейер.

Для цитирования: Турушин, В. А. Совершенствование складских транспортных устройств на воздушной подушке с наклонными питающими каналами / В. А. Турушин, А. М. Редько, Н. В. Турушина // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 1. — С. 58−66. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-1-58-66

Improvement of warehouse hovercraft transport devices with inclined feed channels

V. A. Turushin, A. M. Redko, N. V. Turushina
Luhansk State University named after Vladimir Dal (Luhansk, Luhansk People's Republic)

Introduction. The paper considers the question of the directions of mechanization and automation of rack warehouses logistics. The paper considers hovercraft transport devices operating in the storage area with inclined feeding channels. The displacement of the load center relative to the geometric center of the support surface is studied. It is noted how this affects the main characteristics of the studied devices.
Problem Statement. Previous studies have proved the sufficient performance of non-powered hovercraft transport devices with inclined feed channels, their safety and efficiency in the transportation of piece goods, as well as the potential for mechanization and automation of transport and storage operations in rack warehouses. The task of this work is to present a scheme of mechanization for the storage area of a rack warehouse equipped with a transport device with inclined feeding channels.
Theoretical Part. In rack warehouses designed for the storage of individual goods, the receiving, storing and sending operations are in most cases carried out using carrying and lifting machines. Stacker cranes are most common, but their use requires the creation of complex and expensive systems, i.e. significant capital and operating costs. The article considers the system of mechanization of a rack warehouse with the use of hovercraft vehicles with an off-center location of the cargo. In this case, the height of the airbag depends on the eccentricity of the load location. The points of

application and the values of the resistance and traction forces, torques and friction forces that affect the total resistance are shown, which are typical for such a situation

Conclusion. The results of the research allow us to state that in some cases, instead of traditional transport devices, the use of hovercraft transport devices with the inclined feed channels is effective in logistics enterprises.

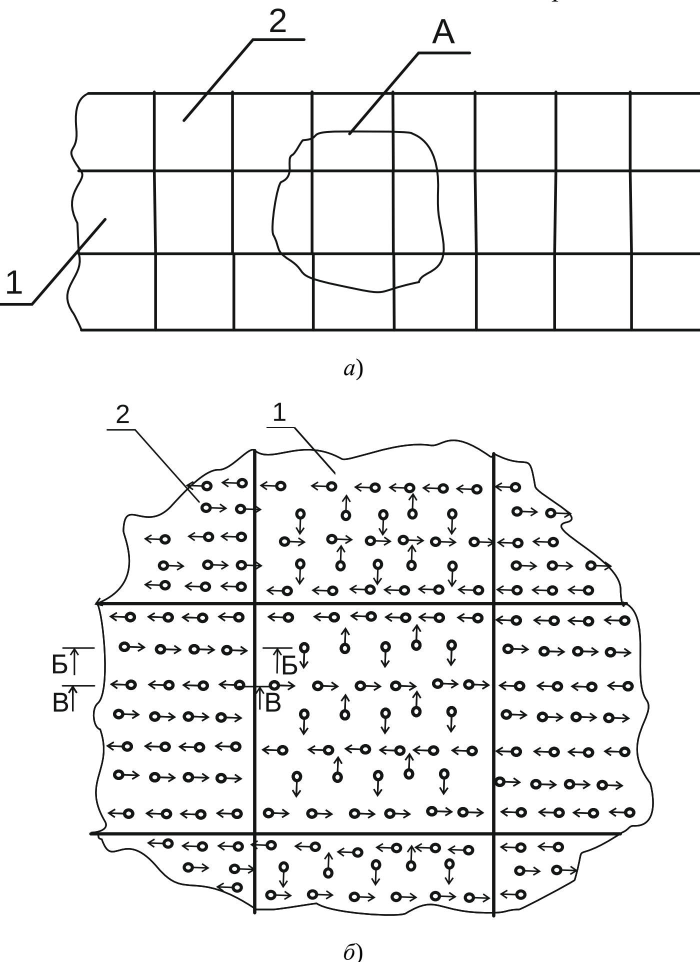
Keywords: air bag, rack warehouses, load center, load conveyor.

For citation: Turushin V. A., Redko A. M., Turushina N. V. Improvement of warehouse hovercraft transport devices with inclined feed channels: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2021;1:58−66. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-1-58-66

Введение. Транспортно-складскую работу в стеллажных складах можно успешно механизировать с помощью бесприводных транспортных устройств на воздушной подушке с наклонными питающими каналами. Доказана их достаточная работоспособность, безопасность и эффективность при транспортировании штучных грузов. Авторы работ [1–4] принимали одинаковой высоту воздушной подушки во всех точках пространства между несущей поверхностью транспортного устройства и опорной поверхностью груза. Однако это возможно только при расположении центра тяжести груза над геометрическим центром опорной поверхности, поэтому данный подход может рассматриваться только как частный случай. Таким образом, применение представленных в [1–4] методик определения основных параметров транспортных устройств при значительном смещении центра тяжести может привести к созданию неработоспособной конструкции.

Постановка задачи. Задача данной работы — представить схему механизации для зоны хранения стеллажного склада, оборудованного транспортным устройством с наклонными питающими каналами. При этом будет установлено, каким образом смещения центра тяжести груза относительно геометрического центра опорной поверхности влияет на основные характеристики рассматриваемых устройств.

Теоретическая часть. Схема механизации стеллажного склада представлена на рис. 1. [5]



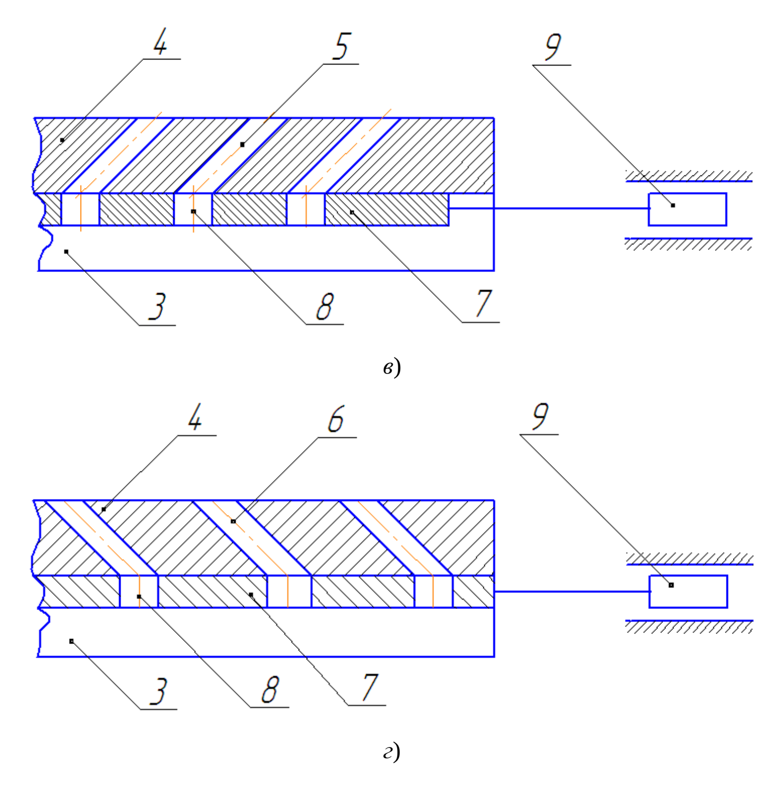


Рис. 1. Схема механизации стеллажного склада с использованием транспортных средств на воздушной подушке: вид сверху (*а*), вид А (*б*); разрез Б — Б (*в*); разрез В — В (*г*); 1 — транспортный конвейер; 2 — ячейка стеллажа; 3 — ресиверная камера; 4 — несущая плита; 5, 6, 8 — питающие каналы; 7 — управляющая плита; 9 — управляющее устройство

Этаж стеллажа для хранения грузов — это:
— продольный транспортный конвейер 1 с воздушной подушкой,
— ячейка 2.
Ячейка состоит из:
— ресиверной камеры 3,
— несущей плиты 4 (ее питающие каналы наклоняются в обе стороны),
— управляющей плиты 7 с вертикальными питающими каналами 8.

Управляющую плиту приводит в движение устройство 9 (пневмоцилиндр, соленоид, электромагнит и др.).

При выдаче поддона с грузом из ячейки 2 стеллажа управляющая плита 7 с помощью устройства 9 устанавливается в такое положение, при котором питающие каналы 5 открыты, а каналы 6 закрыты. Воздух, который находится под давлением в ресиверной камере 3, поступает через питающие каналы 8 и 5 под опорную поверхность поддона. Между несущей плитой 4 ячейки 2 стеллажа и опорной поверхностью поддона создается воздушная подушка. За счет действия наклонных воздушных струй поддон с грузом перемещается на конвейер 1. Установка поддонов в ячейки 2 стеллажа производится в обратном порядке. При этом наклонные питающие каналы 6 открыты, а каналы 5 закрыты. С помощью подъемника элеваторного типа (или любого другого подъемника) поддон с грузом можно передать с транспортного конвейера этажа на наземный транспорт. Количество этажей в стеллаже не ограничено.

Рассмотрим неприводной конвейер с воздушной подушкой и наклонными питающими каналами. В этом случае движение поддона с грузом возможно только при соблюдении условия:

$$F_x \geq W_o + W_u = W_o + G \cdot \frac{a}{g}.$$

где F_x — тяговая сила, создаваемая наклонной струей воздуха; W_0 — сопротивление движению поддона с грузом; W_u — сила инерции при разгоне груза до необходимой скорости; G — вес поддона с грузом; a — ускорение поддона с грузом, необходимое для достижения требуемой скорости в заданное время; g — ускорение свободного падения.

Авторы ранее опубликованных работ[1, 2] и методик расчета [4] основных параметров конвейеров с воздушной подушкой принимали сопротивление движению равным сопротивлению скольжения опорной поверхности поддона (груза) по несущей поверхности конвейера. Причем высота воздушной подушки во всех точках принималась одинаковой, что возможно только при условии расположения центра тяжести груза над геометрическим центром поддона.

Однако груз может располагаться не в центре поддона, т. е. центр тяжести груза не совпадает с геометрическим центром опорной поверхности поддона. В таком случае высота воздушной подушки под поддоном различна и зависит от эксцентриситета расположения груза. Из-за этого смещаются точки приложения и меняются величины сил сопротивления и тяговой силы, которые зависят от высоты воздушной подушки. Кроме того, возникают крутящие моменты, стремящиеся развернуть поддон, который перемещается в направляющих бортиках, ограничивающих его поперечное смещение и вращение. В точках контакта поддона с направляющими возникают силы трения, увеличивающие суммарное сопротивление (рис. 2).

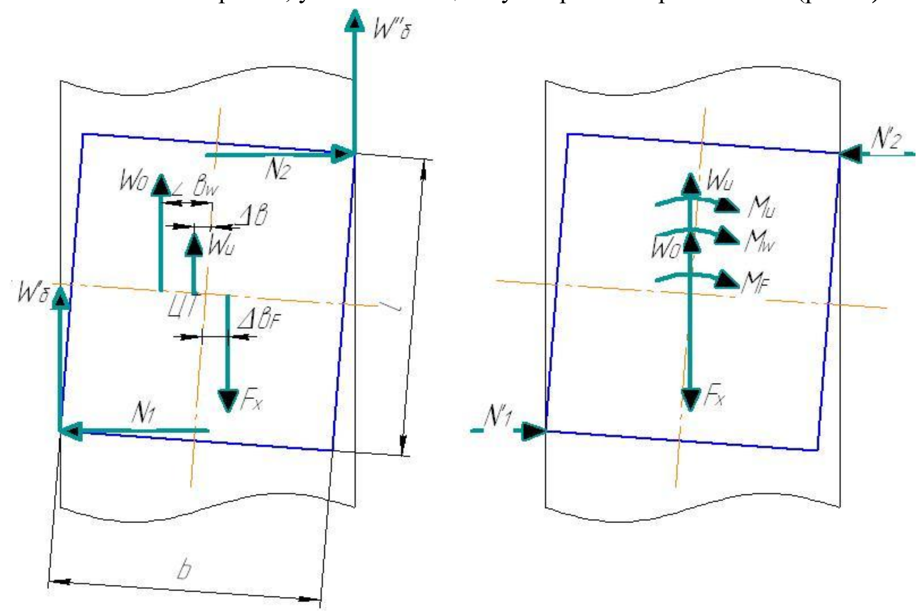


Рис. 2. Общее сопротивление движения поддона с грузом

Таким образом, сопротивление движению поддона:

$$W_o = W_c + W_\delta ,$$

где W_c — сопротивление от скольжения поддона по несущей поверхности конвейера, W_δ — сопротивление от трения о направляющие борта.

Сопротивление от скольжения можно определить по формуле:

$$W_c = G\left(f_1 \cdot e^{-6\frac{h}{\Delta}} + 0,0008 \right),$$

где G — коэффициент трения при отсутствии воздушной подушки, h — высота воздушной подушки, Δ — высота неровностей несущей поверхности конвейера.

Сопротивление от трения о направляющие бортики:

$$W_\delta = W_\delta' + W_\delta'' = \left(N_1 + N_2\right) \cdot f_2 = 2 \cdot f_2 \frac{M_F + M_w + M_u}{\ell} .$$

где M_F — момент, обусловленный смещением тяговой силы; M_W — момент, обусловленный смещением силы сопротивления от скольжения; M_u — момент, обусловленный смещением силы инерции при разгоне; ℓ — длина поддона.

$$M_F = F_x \cdot \Delta b_x ,$$

$$M_W = W_c \cdot \Delta b_w ,$$

[1] Рабочий Г. М., Румянцев Б. П. Определение несущей способности устройств для бесконтактного перемещения грузов // Новое в подъемно-транспортной технике : тез. Всесоюз. науч. конф., посвящ. 60-летию кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» МВТУ им. Н. Э. Баумана. М., 1985. С. 36–37.

[2] Бшеш Н. Ю. Совершенствование конвейеров с воздушной подушкой, транспортирующих штучные грузы : дис. … к-та тех. наук. Луганск, 1994. 179 с.

$$M_u = \frac{G}{g} \cdot a \cdot \Delta b,$$

где Δb_x, Δb_w, Δb — величины смещения точек приложения соответствующих сил относительно центра поддона.

Тяговая сила, создаваемая струей воздуха, выходящего из наклонных питающих каналов, может быть описана выражением [6]:

$$F_x = P \cdot S \cdot C_x,$$

где P — избыточное давление в ресиверной камере конвейера, S — площадь опорной поверхности поддона, C_x — коэффициент тяговой силы.

Используя результаты ранее проведенных исследований [6], имеем:

$$C_x = \frac{16 \cdot \left(\frac{H+h}{\alpha}\right)^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{H+h}{d} \cdot \left(1 - e^{-0,5\frac{d}{H+h}}\right)\right]^2 \cdot \frac{\overline{\Pi}^2}{\overline{S}_1} \cdot h^2 \cdot \sin\alpha}{1 + \frac{\overline{\Pi}^2}{2 \cdot \overline{S}_1^2} \cdot h^2}.$$

где H — глубина камеры в опорной поверхности поддона, d — диаметр питающих каналов. $\overline{\Pi}$ — отношение периметра к площади опорной поверхности поддона:

$$\overline{\Pi} = \frac{\Pi}{S} = \frac{2 \cdot (l + b)}{l \cdot b},$$

где ℓ — длина опорной поверхности поддона, b — ширина опорной поверхности поддона.

$\overline{S}_1$ — относительная площадь питающих каналов:

$$\overline{S}_1 = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot n}{S},$$

где n — количество питающих каналов на площади, перекрываемой поддоном.

Зависимости коэффициента тяговой силы от высоты воздушной подушки в исследуемых пределах носит практически линейный характер [6]. Поэтому можно положить:

$$F_x = P \cdot S \cdot \frac{C_{x1} + C_{x2}}{2},$$

где C_{x1}, C_{x2} — значения коэффициента тяговой силы в крайних точках.

Тогда:

$$F_x = 8 \cdot P \cdot S \cdot \frac{\overline{\Pi}^2}{\overline{S}_1} \cdot \mathrm{Sin}\,\varphi \cdot \left\{ \frac{\left(\frac{H+h_1}{d}\right)^2 \left[1 - 2 \cdot \frac{H+h_1}{d}\left(1 - e^{-0,5\frac{d}{H+h_1}}\right)\right]^2 h_1^2}{1 + \frac{\overline{\Pi}^2}{2 \cdot \overline{S}_1^2} h_1^2} + \frac{\left(\frac{H+h_2}{d}\right)^2 \left[1 - 2 \cdot \frac{H+h_2}{d}\left(1 - e^{-0,5\frac{d}{H+h_2}}\right)\right]^2 h_2^2}{1 + \frac{\overline{\Pi}^2}{2 \cdot \overline{S}_1^2} h_2^2} \right\}.$$

где h_1, h_2 — значения высоты воздушной подушки в крайних точках, φ — угол между вертикалью и осью питающего канала.

Подъемную силу, уравновешивающую вес поддона с грузом, можно определить [6]:

$$F_y = P \cdot S \cdot C_y.$$

где C_y — коэффициент подъемной силы:

$$C_y = \frac{1}{1 + \frac{\overline{\Pi}^2}{2 \cdot \overline{S}_1^2} h^2}.$$

Если центр тяжести груза смещен относительно центра поддона, высота воздушной подушки будет уменьшаться в сторону данного смещения. Это повлечет изменение C_y. Характер зависимости C_y от h в рассматриваемых пределах близок к линейному [3], поэтому:

$$C_y = \frac{C_{y1} + C_{y2}}{2},$$

где C_{y1}, C_{y2} — значения коэффициентов подъемной силы в крайних точках.

Тогда:

$$F_y = F_{y1} + F_{y2} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot S \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{\overline{\Pi}^2}{2 \cdot \overline{S}_1^2} h_1^2} + \frac{1}{1 + \frac{\overline{\Pi}^2}{2 \cdot \overline{S}_1^2} h_2^2} \right).$$

Рассматривая поддон с грузом в равновесии (рис. 3), определим высоту воздушной подушки в крайних точках.

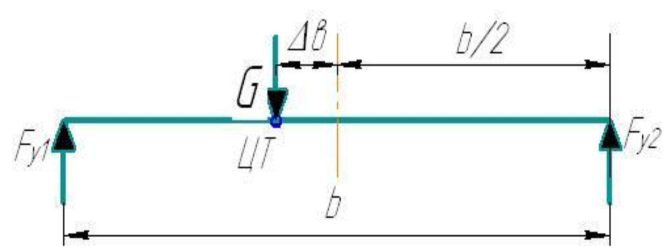


Рис. 3. Поддон с грузом в равновесии

$$G\left(\frac{b}{2} + \Delta b\right) - F_{y1} \cdot b = 0, \quad F_{y1} = G\frac{b + 2 \cdot \Delta b}{2b},$$

$$G\left(\frac{b}{2} - \Delta b\right) - F_{y2} \cdot b = 0, \quad F_{y2} = G\frac{b - 2 \cdot \Delta b}{2b}.$$

Таким образом:

$$G\frac{b + 2 \cdot \Delta b}{2b} = \frac{P \cdot S}{2 + 4 \cdot \frac{(b+l)^2}{\overline{S}_1^2 \cdot b^2 \cdot l^2} h_1^2}.$$

Откуда:

$$h_1 = \frac{\overline{S}_1 \cdot b \cdot l}{b + l} \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{P \cdot b \cdot l}{G} \cdot \frac{b}{b + 2 \cdot \Delta b} - 1\right)}.$$

Аналогично:

$$G\frac{b - 2 \cdot \Delta b}{2b} = \frac{P \cdot S}{2 + 4 \cdot \frac{(b+l)^2}{\overline{S}_1^2 \cdot b^2 \cdot l^2} h_2^2}.$$

Откуда:

$$h_2 = \frac{\overline{S}_1 \cdot b \cdot l}{b + l} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P \cdot b \cdot l}{G} \cdot \frac{b}{b - 2 \cdot \Delta b} - 1\right)}.$$

Обозначив

$$\frac{G}{P \cdot S} = C_{y0},$$

получим:

$$h_1 = 0{,}707 \frac{\overline{S}_1 \cdot l}{1 + \frac{l}{b}} \sqrt{\frac{1}{C_{y0}\left(1 + 2 \cdot \frac{\Delta b}{b}\right)} - 1}.$$

$$h_2 = 0{,}707 \frac{\overline{S}_1 \cdot l}{1 + \frac{l}{b}} \sqrt{\frac{1}{C_{y0}\left(1 - 2 \cdot \frac{\Delta b}{b}\right)} - 1}.$$

Суммарное сопротивление движению поддона с грузом складывается из:



— сопротивления от скольжения по неподвижной поверхности конвейера;

— сопротивления от трения о направляющие борта, обусловленного смещением центра тяжести груза относительного центра поддона.

Сопротивление от скольжения зависит от высоты воздушной подушки (от h_1 до h_2 по ширине поддона). Равнодействующая смещается относительно центра поддона на величину Δbw.

Высота воздушной подушки в точке приложения равнодействующей $h_ц$ может быть определена из равенства площадей, ограниченных кривой [6] (рис. 4):

$$\omega = f_1 e^{-6\frac{h}{\Delta}} + 0,0008 .$$

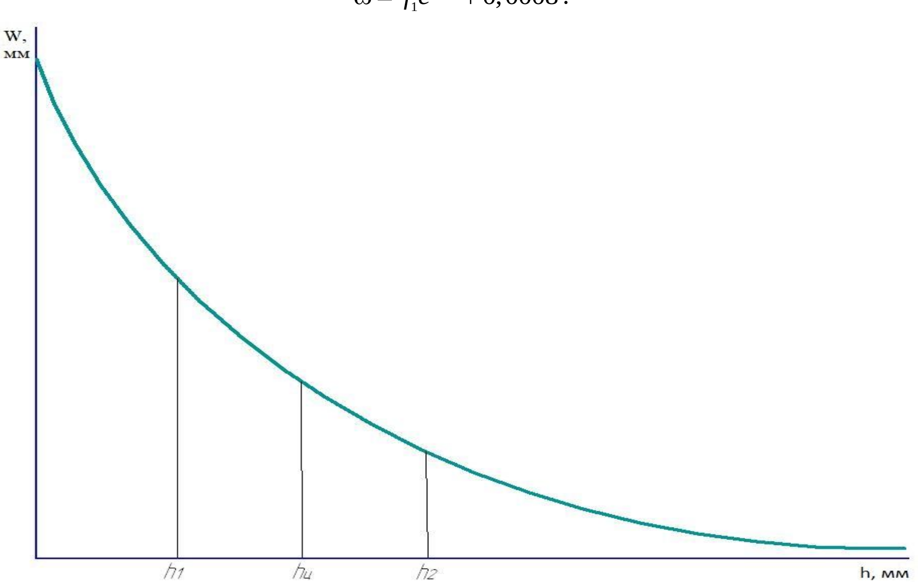


Рис. 4. Высота воздушной подушки в точке приложения

$$\int_{h_2}^{h_c} \left(f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}h} + 0,0008 \right) dh = \int_{h_c}^{h_1} \left(f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}h} + 0,0008 \right) dh.$$

После интегрирования и упрощения получим:

$$\ell n h_c^2 = \ell n h_2 + \ell n h_1 ,$$

или

$$h_c = \sqrt{h_2 \cdot h_1} .$$

Величина смещения точки приложения равнодействующей сил сопротивления скольжения (рис. 5):

$$\Delta bw = b \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2} - h_1}{h_2 - h_1} \right).$$

Рис. 5. Величина смещения точки приложения

Возникающий из-за смещения равнодействующей момент равен:

$$M_w = W_c \cdot \Delta bw = Gb \left(f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}\sqrt{h_1 \cdot h_2}} + 0,0008 \right) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2} - h_1}{h_2 - h_1} \right).$$

При разгоне груза до требуемой скорости сила инерции приложена в центре тяжести поддона с грузом. Момент этой силы относительно центра поддона при равноускоренном движении:

$$M_u = \frac{G}{g} \cdot a \cdot \Delta b \,.$$

Значит, сопротивление от трения поддона о направляющие бортики при внецентренном расположении груза:

$$W_\delta = 2 \cdot \frac{f_2}{l} \cdot \left[\begin{array}{l} \frac{P \cdot S}{2} \cdot b \cdot \left(Cx_2 - Cx_1 \right) + G \cdot b \times \\ \times \left(f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}\sqrt{h_1 \cdot h_2}} + 0{,}0008 \right) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2} - h_1}{h_2 - h_1} \right) + \frac{G}{g} \cdot a \cdot \Delta b \end{array} \right].$$

Условие движения поддона при внецентренном расположении груза в ячейке стеллажного склада:

$$\frac{1}{Cy_0} \cdot \frac{Cx_1 + Cx_2}{2} = f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}\sqrt{h_1 \cdot h_2}} + 0{,}0008 + 2\frac{f_2}{l} \times$$
$$\times \left[\frac{b}{2Cy_0}\left(Cx_2 - Cx_1 \right) + b\left(f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}\sqrt{h_1 \cdot h_2}} + 0{,}0008 \right) \times \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2} - h_1}{h_2 - h_1} \right) + \frac{a}{g} \cdot \Delta b \right] + \frac{a}{g}.$$

Ускорение движения поддона с грузом в ячейке склада:

$$a = \frac{g \cdot \frac{l}{b}}{\frac{l}{b} + 2 f_2 \cdot \frac{\Delta b}{b}} \times \left\{ \begin{array}{l} \frac{Cx_1 + Cx_2}{2Cy_0} - f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}\sqrt{h_1 \cdot h_2}} - 0{,}0008 - 2 \cdot f_2 \cdot \frac{b}{l} \times \\ \times \left[\frac{Cx_2 - Cx_1}{2Cy_0} + \left(f_1 \cdot e^{-\frac{6}{\Delta}\sqrt{h_1 \cdot h_2}} + 0{,}0008 \right) \times \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2} - h_1}{h_2 - h_1} \right) \right] \end{array} \right\}.$$

Видно, что ускорение движения поддона с грузом зависит от многих факторов. Некоторые из них (размеры опорной поверхности поддона и величина смещения центра тяжести) регламентированы характеристикой транспортируемого груза. Коэффициенты трения и высота неровностей поверхности зависят от материалов, из которых изготавливается конвейер. Оптимальные значения диаметра и угла наклона питающих каналов определены ранее [4, 7]. Необходимое ускорение можно получить путем варьирования *H*, $\bar{S}$ и *P*.

Выводы. Анализ способов и средств механизации и автоматизации транспортных процессов в стеллажных складах показал, что применение конвейеров с воздушной подушкой сокращает время выполнения отдельных операций, упрощает схемы автоматизации, дает возможность создать безопасную автоматизированную или легко управляемую транспортно-складскую систему. В итоге такой подход значительно снизит капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

Результаты проведенных исследований использованы при создании методики определения основных параметров транспортных устройств на воздушной подушке с наклонными питающими каналами. В случае транспортировки грузов со смещенным центром тяжести такой подход позволяет значительно расширить область применения указанных устройств и обеспечить их надежную и безопасную работу в зонах хранения стеллажных складов.

Библиографический список

1. Смехов, А. А. Автоматизированные склады / А. А. Смехов. — Москва : Машиностроение, 1979. — 288 с.

2. Поветкина, Т. Н. Зарубежные устройства на воздушной подушке для погрузо-разгрузочных и транспортных работ. — Москва : НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1971. — 45 с.

3. Битюков, В. К. Автоматизация транспортирования штучных изделий на воздушной прослойке / В. К. Битюков, С. М. Габович // Механизация и автоматизация производства. — 1975. — № 8. — С. 14–16.

4. Пронін, М. О. Методика розрахунку неприводних конвеєрів на повітряній подушці з нахиленими циліндричними каналами / М. О. Пронін, В. С. Заіка // Вісник СНУ ім. В. Даля. — 2008. — № 6 (124), ч. 2. — С. 56–59.

5. Турушина, Н. В. Использование транспортных устройств с воздушной подушкой для механизации и автоматизации стеллажных складов / Н. В. Турушина, В. А. Турушин, А. М. Редько // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. — 2017. — № 2 (4), ч. 2. — С. 196–198.

6. Турушина, Н. В. Влияние смещения центра тяжести груза относительно центра поддона конвейера с воздушной подушкой на сопротивление перемещения / Н. В. Турушина, В. А. Турушин // Вісник СНУ ім. В. Даля. — 2011. — № 5 (159), ч. 2. — С. 298–305.

7. Битюков, В. К. Конвейер с воздушной подушкой / В. К. Битюков // Механизация и автоматизация производства — 1979. — № 10. — С. 3–5.

Сдана в редакцию 07.12.2020
Запланирована в номер 05.02.2021

Об авторах:

Турушин Владимир Александрович, профессор кафедры «Транспортные технологии» Института транспорта и логистики Луганского государственного университета имени Владимира Даля (91034, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4273-3902, tva_1936@mail.ru

Редько Анатолий Михайлович, доцент кафедры «Транспортные технологии» Института транспорта и логистики Луганского государственного университета имени Владимира Даля (91034, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0820-2454, misha.redko.2001@mail.ru

Турушина Наталья Владимировна, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии» Института транспорта и логистики Луганского государственного университета имени Владимира Даля (91034, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а): ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0863-445X, sun.best@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. А. Турушин — формирование основной концепции, цели и задачи исследования; А. М. Редько — научное руководство, анализ результатов исследования, доработка текста, корректировка выводов; Н. В. Турушина — разработка программного комплекса, оформление меню, проведение расчетов.

Submitted 07.12.2020
Scheduled in the issue 05.02.2021

Authors:

Turushin, Vladimir A., Professor, Department of Transport Technologies, Luhansk State University named after Vladimir Dal (20 a, Molodezhny sq., Luhansk, LPR, 91034), Cand. Sci., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4273-3902, tva_1936@mail.ru

Redko, Anatoliy M., Associate professor, Department of Transport Technologies, Luhansk State University named after Vladimir Dal (20 a, Molodezhny sq., Luhansk, LPR, 91034), Cand. Sci., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0820-2454, misha.redko.2001@mail.ru

Turushina, Nataliya V., Senior lecturer, Department of Transport Technologies, Luhansk State University named after Vladimir Dal (20a, Molodezhny sq., Luhansk, LPR, 91034) ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0863-445X, sun.best@mail.ru

Contribution of the authors:

V. A. Turushin — formulation of the main concept, goals and objectives of the study; A. M. Redko — scientific supervision, analysis of the research results, revision of the text, correction of the conclusions; N. V. Turushina — development of the software package, menu design, calculations.